



نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷

صفحات: ۷۱-۸۷

10.52547/mmi.997.6

## مطالعه CFD تأثیر فرم ساختمان بر کاهش ورود آلاینده‌های ترافیکی و افزایش سرعت تهویه درون ساختمان در بافت خطی شهری

مژگان کمالی\*\* علی اکبر حیدری\*\*\* یعقوب پیوسته گر\*\*\*\*

### چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آلودگی هوا در شهرها، آلودگی ناشی از ترافیک شهری است. این در حالی است که تأثیر ذرات معلق ناشی از ترافیک بر کیفیت هوای داخلی، کمتر بررسی شده است. از سویی، مورفولوژی ساختمان‌ها تأثیر زیادی بر الگوی توزیع آلاینده‌ها در یک بافت شهری دارد. بر همین اساس در این پژوهش، به نقش مورفولوژی ساختمان‌ها در یک بافت شهری بر نحوه توزیع آلاینده‌های ناشی از ترافیک در فضای داخلی ساختمان، پرداخته می‌شود. فرایند پژوهش به این صورت انجام گرفت که ابتدا با استفاده از نرم‌افزار grasshopper و پلاگین wasp، و با کمک الگوریتم Aggregation، ۱۰۰ نمونه فرم تولید شد. از میان آن‌ها، ۳ فرم اصلی که با فرم‌های ساختمانی موجود در بافت شهری منطقه یک شهر شیراز هم‌خوانی داشتند، انتخاب شدند. سپس با چرخش هریک از فرم‌ها در چهار جهت، به‌طور کلی ۱۲ نمونه بافت شهری تولید شد. یک ساختمان در مرکز هر کدام از نمونه‌های موردی به‌عنوان ساختمان هدف انتخاب، و کیفیت هوا شامل سرعت هوا و غلظت آلاینده‌ها درون آن، مورد سنجش قرار گرفت. در این تحقیق، نمونه‌ها با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، شبیه‌سازی شدند. جریان ثابت سه‌بعدی (steady 3dimentional flow) با استفاده از مدل آشفتگی SST-K $\omega$  جهت شبیه‌سازی نمونه‌ها استفاده شد که به‌صورت عددی براساس معادلات رینولدز، میانگین ناور استوکس (RANS) حل شده است. نرم‌افزار CFD مورد استفاده در این تحقیق در مقایسه با آزمایشات تونل باد، اعتبارسنجی شد و نتایج قابل قبولی به همراه داشت. نتایج نشان داد که فرم ساختمان‌های موجود در بافت، تأثیر قابل توجهی بر کیفیت هوای درون ساختمان‌ها دارد. همچنین براساس نتایج روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس، بهترین و بدترین الگوی فرمی ساختمان به‌ترتیب مربوط به فرم L و فرم پلکانی شکل است.

### واژگان کلیدی: فرم ساختمان، کیفیت هوا، آلودگی هوا، سرعت هوا، دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

\* این مقاله، برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان: "تأثیر فرم ساختمان بر کیفیت هوای داخل در ساختمان‌های مسکونی کم‌ارتفاع (نمونه موردی: منطقه یک شهر شیراز)" می‌باشد که با راهنمایی سایر نگارندگان، به انجام رسیده است.

\*\* دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی یاسوج، یاسوج.

\*\*\* استاد عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج (نویسنده مسئول).

\*\*\*\* دانشیار معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی یاسوج، یاسوج.



## مقدمه

همه‌گیری جهانی (کرونا) در چند سال گذشته، اهمیت پرداختن به کیفیت هوای داخلی (IAQ) را به صورت قابل توجهی افزایش داده است. این اتفاق، به گونه‌ای استفاده از تهویه طبیعی را در بنا، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های طراحان و سازندگان ابنیه در سال‌های اخیر گردانیده است (Agarwal et al., 2021: 70; Kim et al., 2021: 108). زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که ساختمان در معرض آلاینده‌های شهری قرار گرفته باشد (Kairies-Alvarado et al., 2021: 236). امروزه، استفاده از وسایل نقلیه موتوری به یک ضرورت در زندگی جوامع انسانی به‌ویژه در شهرها، تبدیل شده است. این موضوع به افزایش انتشار انواع آلاینده‌ها از جمله مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، ترکیبات آلی فرار (VOCs)، و ذرات معلق (PM) منجر شده است (Park et al., 2004: 264; Vardoulakis et al., 2003: 156). بنابراین، نگرانی از سلامتی انسان در مقابل آلاینده‌های موجود در هوا، به یک بحران در زندگی شهروندان تبدیل شده است. به‌عنوان مثال، بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که زندگی در نزدیکی خیابان‌های شلوغ تأثیر بدی بر سلامتی انسان می‌گذارد و باعث مرگ‌ومیر می‌شود (Kheirbek et al., 2013: 37; Raaschou-Nielsen et al., 2016: 89). ساختمان‌ها، عناصر فضایی سازنده شهرها هستند و به‌طور مستقیم بر کیفیت محیط زندگی انسان تأثیرگذار هستند (Wu & Chen, 2023: 228). یکی از این تأثیرات، نقش آن‌ها بر الگوی جریان هوا و کیفیت تهویه در فضاهای باز و بسته است (He et al., 2019: 101; Rubina Ramponi et al., 2015: 154). بلوک‌های ساختمانی می‌توانند نقش مهمی بر الگوی انتشار آلاینده‌های ناشی از ترافیک در فضاهای شهری داشته باشند (An et al., 2019: 510; Zhu et al., 2021: 118). به نحوی که استفاده از فرم‌های ساختمانی مناسب می‌تواند به‌طور مؤثری تأثیر آلاینده‌ها را بر انسان کاهش دهد (Wu & Chen, 2023: 228).

هدف از پژوهش حاضر کمک به ارزیابی کیفیت هوای داخل، شناخت و ارزیابی آلترناتیوهای ایجاد بافت شهری با کمترین میزان آلاینده، و ارزیابی فرم ساختمانی بهینه برای بهبود کیفیت هوا می‌باشد. با توجه به اهداف پژوهش، در این تحقیق به سؤالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. تغییر در الگوی بافت شهری (متأثر از تغییر فرم و آرایش ساختمان)، چه تأثیری بر نفوذ آلاینده‌ها در ساختمان دارد؟

۲. مشخصه‌های فرم ساختمانی بهینه در ارتباط با الگوی رفتار باد برای افزایش کیفیت هوا، چگونه است؟

## پیشینه تحقیق و مبانی نظری

یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که امروزه در ارتباط با اقلیم مطرح است، بحث مربوط به توسعه شهرنشینی، آلودگی هوای شهری، و متعاقب آن آب‌وهوای شهری است (Landsberg, 1981: 55; Mohammadi, 2011: 86). شهری در آغاز به‌عنوان یک مشکل محلی مرتبط با انتشارات گرمایش خانگی و صنعتی در نظر گرفته می‌شد که تا حد زیاد قابل کنترل نیز بود. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در تکنولوژی سوخت و موتور، در حال حاضر انتشار انواع آلاینده‌ها در محیط‌های شهری همچنان غلبه دارند (Fenger, 1999: 4789; Vardoulakis et al., 2003: 159). هم‌اکنون از این مسئله و معضل زیست‌محیطی به دور نبوده، و این مشکل به‌ویژه در شهرهای بزرگی همچون تهران، تبریز، اصفهان، شیراز، اراک، و کرج به‌وضوح قابل مشاهده است. توسعه سریع شهرنشینی، صنعتی شدن و روند روزافزون به‌کارگیری خودروها، سبب مشکلات متعدد محیط‌زیستی همچون تولید و پخش انواع آلاینده‌های هوا گردیده است. چنین وضعیتی، از مسائل مهم کلان‌شهرها محسوب می‌شود (Sharifi, 2009: 112).

از آنجایی که فرم شهرها، نحوه استقرار خیابان‌ها نسبت به جهت وزش باد، ارتفاع و فرم ساختمان و جزئیات اجرایی آن‌ها در تعیین جریان‌های اصلی باد در شهر، بر نحوه وزش باد و بر افزایش یا کاهش شدت باد و تغییر الگوی موضعی آن تأثیر دارند، توجه به آن‌ها در تنظیم شرایط محیط و بهره‌گیری از جریان باد برای تهویه (به‌ویژه در بحث آلودگی هوا) و پیشگیری از تأثیرات منفی آن، اهمیت دارد. با این حال، افزایش سرعت باد در تمام نسبت‌های ارتفاع به عرض معبر، باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها می‌شود (Kianmehr & Bahrainy, 2016: 102). در کنار هندسه ساختمان‌ها و خیابان‌ها، غلظت آلاینده‌ها و پراکندگی آن‌ها در خیابان‌های شهری تحت تأثیر سرعت و جهت باد قرار دارد. مطالعات قبلی نشان می‌دهند که غلظت آلاینده‌هایی همچون ذرات معلق (PM)، هنگامی که جهت باد از حالت موازی به عمودی تغییر پیدا می‌کند، تا سه برابر افزایش می‌یابد (MacNaughton et al., 2014: 39; Wong et al., 2019: 681; Yuan et al., 2014: 248). در سال‌های اخیر در بسیاری از تحقیقات، به ارزیابی میزان ارتباط شکل شهری و کیفیت هوا و فراوانی آلاینده‌ها، توجه ویژه‌ای شده است. این، در حالی است که نقش



و کیفیت هوا را در سه مقیاس شهر، محله، و بلوک شهری، بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نیز عموماً به ارائه استراتژی‌های مختلف برنامه‌ریزی و طراحی شهری به منظور بهبود تهویه هوا و کیفیت هوا، و ایجاد یک محیط شهری سالم و پایدار، منجر شده است (Ewing & Rong, 2008: 17). در جدول ۱، بخشی از این تحقیقات ارائه شده است.

مورفولوژی شهری بر انتشار آلودگی‌ها در تحقیقات شهری و طراحی محیطی، کمتر مورد توجه بوده است (Cárdenas Rodríguez et al., 2016: 7). اکثر این تحقیقات به‌طور کلی به تحلیل پارامترهایی چون ارتفاع ساختمان، عرض خیابان‌ها، تراکم شهری، نوع پنجره ساختمان‌ها، شکل سقف، و آرایش ساختمان‌ها در بافت‌های شهری پرداخته، و موضوع تهویه هوا

جدول ۱. پیشینه تحقیق

نویسنده	موضوع اصلی	ذرات آلاینده	متغیر مستقل	متغیر وابسته	روش مطالعه	مدل آشفتگی	ابعاد شبیه‌سازی
Cárdenas Rodríguez et al., 2016	الگوی فرم شهری	NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub>	تراکم و پراکندگی شهری	C, A, T	تجربی	-	-
Fan et al., 2017	الگوی فرم شهری	CO	الگوی بازو و نسبت ابعاد خیابان	C,	CFD	RANS, SKE	سه‌بعدی
Ramponi et al., 2015	الگوی فرم شهری	تراکم شهری و عرض خیابان	LMA, ,	C,	CFD	RANS, SKE	سه‌بعدی
Zhu et al., 2021	الگوی فرم شهری	ذرات بسیار ریز (UFP)	ارتفاع و آرایش ساختمان، جهت باد	C	تجربی CFD-	-	سه‌بعدی
An et al., 2019	الگوی فرم شهری	-	ارتفاع و آرایش ساختمان	C,	CFD	RANS, SSTKW	سه‌بعدی
(Xie et al., 2005)	الگوی فرم ساختمان	-	شکل سقف و ساختار ساختمانی محیط	C,	CFD	RANS, SKE	دو بعدی / سه‌بعدی
Lu & Peng, 2023	الگوی فرم شهری	PM <sub>1</sub>	ارتفاع پل، نسبت ابعاد و فاصله خط مرکزی	C, , RH, T, TKE	مقیاس واقعی / CFD	RANS, RKE(realizable k-e)	دو بعدی
Alwetaishi & Gadi, 2021	الگوی فرم ساختمان	شکل بادگیر	شکل بادگیر	مقیاس کوچک شده / CFD	مقیاس کوچک شده / CFD	-	سه‌بعدی
(Tao et al., 2022)	الگوی فرم ساختمان	-	شکل NVDSF (نمای دوپوسته با تهویه طبیعی) و اتاق، اندازه دریچه‌های تأمین هوا، ارتفاع نصب و نسبت ابعاد	Q, LMA, VE	CFD	RANS, RNG (renormalization Group k-ε model)	سه‌بعدی
Wu & Chen, 2023	الگوی فرم ساختمان	CO	تیپولوژی بلوک‌های مسکونی	C, , PFR, NEV	CFD	RANS, RNG	سه‌بعدی
Niu et al., 2018	الگوی فرم ساختمان	PM <sub>2.5</sub>	جهت باد، فاصله ساختمان و ارتفاع سطح زمین	C	CFD	RANS, SKE	سه‌بعدی
Ng & Chau, 2014	الگوی فرم ساختمان و خیابان	CO	نفوذپذیری ساختمان و نسبت ابعاد	C,	CFD	RANS, SKE	سه‌بعدی
Nguyen et al., 2019	الگوی فرم ساختمان	C <sub>2</sub> , H <sub>6</sub> , SF <sub>6</sub>	شکل سقف و نسبت ابعاد	C, , TKE	CFD	RANS, RNG	دو بعدی
Huang et al., 2015	الگوی فرم ساختمان	-	شکل و ارتفاع سقف	C, , TKE	CFD	RANS, SKE	دو بعدی

(نگارندگان، ۱۴۰۳)



- با تحلیل مطالب جدول ۱، می‌توان به این موارد دست یافت:
  - در سال‌های اخیر، توجه فزاینده‌ای به توزیع آلاینده‌ها در بلوک‌های شهری و هم‌بستگی آن‌ها با پیکربندی شهری انجام شده است (Liu et al., 2021:125; Zheng et al., 2021:107). با این حال، چنین مطالعاتی بیشتر به بررسی موضوع در مقیاس شهری پرداخته‌اند. تأثیر مورفولوژی ساختمان بر الگوی توزیع آلاینده به‌ندرت انجام گرفته است.
  - اکثر این تحقیقات تحلیل مورفولوژی شهری را بر کیفیت هوا در محیط‌های بیرونی از جمله معابر انجام داده‌اند. لذا تأثیر این موضوع بر کیفیت هوای داخل، کمتر بررسی شده است.
  - فرم شهری، ارتفاع و آرایش ساختمان‌ها، شکل سقف ساختمان، نسبت ابعاد، شکل نما و شکل پنجره، از جمله مهم‌ترین شاخص‌هایی هستند که تأثیر آن‌ها بر کیفیت هوا و الگوی انتشار آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است.
  - از جمله مهم‌ترین آلاینده‌هایی که در پژوهش‌ها بررسی شده‌اند، می‌توان به  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $PM_1$ ,  $UFP$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $C_2H_6$ ,  $SF_6$  اشاره کرد. از بین این آلاینده‌ها،  $CO$  در تحقیقات بیشتری مورد استفاده قرار گرفته است.
  - در بیشتر پژوهش‌ها، دو متغیر سرعت هوا و غلظت آلاینده‌ها، به‌عنوان متغیرهای وابسته تحقیق، مورد سنجش قرار گرفته‌اند.
  - روش مورد استفاده در این تحقیقات، عموماً شبیه‌سازی CFD بوده، و در اکثر تحقیقات از مدل‌سازی سه‌بعدی استفاده شده است.
  - دو مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  standard و  $k-\epsilon$  renormalization در تحقیقات، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

### روش تحقیق

در این پژوهش، به تحلیل تأثیر مورفولوژی ساختمان بر نحوه انتشار آلودگی ناشی از ترافیک وسایل نقلیه پرداخته می‌شود. فرم بافت شهری مورد بررسی براساس فرم بافت‌های مسکونی موجود در شهر شیراز انتخاب شده است. از میان آلاینده‌های متأثر از ترافیک شهری، آلاینده  $NO_2$  که دارای بالاترین غلظت و فراوانی ( $73 \mu g/m^2$ ) در نمودار سالانه غلظت شهر شیراز است، بررسی خواهد شد (PlumeLabs, 2022:207). براساس فرایند این تحقیق، ابتدا آلترناتیوهای مختلف فرم ساختمان مسکونی با استفاده از نرم‌افزار Grasshopper

براساس دو متغیر حجم و ضریب فشردگی، تولید می‌شود. در گام دوم، شبیه‌ترین گزینه‌ها به ساختمان‌های موجود در بافت مسکونی منطقه یک شهر شیراز از بین فرم‌های تولید شده، انتخاب می‌گردند. در مرحله بعد، با چرخش الگوی ساختمانی انتخاب‌شده، انواع بافت‌های شهری قابل استخراج تعیین می‌شوند. در مرحله چهارم، با استفاده از شبیه‌سازی عددی در CFD، بافت‌های تعیین شده مورد تحلیل قرار خواهند گرفت. این تحلیل به‌گونه‌ای است که سرعت باد و غلظت آلاینده‌های درون ساختمان هدف مورد بررسی قرار گیرد. در مرحله آخر، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس به بررسی بهترین فرم ساختمانی در بافت جهت کاهش غلظت آلاینده‌ها و افزایش سرعت هوا (در ساختمان هدف)، پرداخته می‌شود.

### معرفی محدوده مورد مطالعه

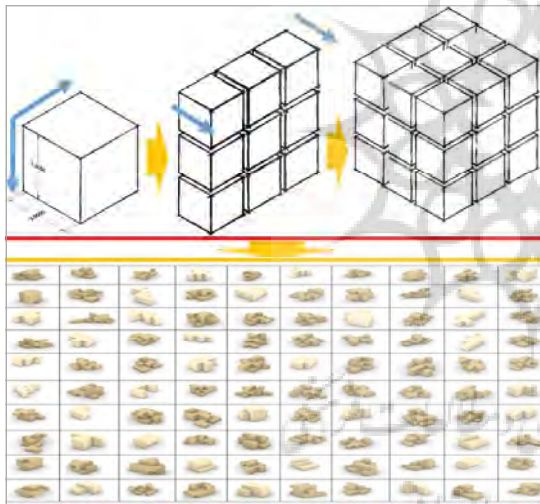
شیراز مرکز استان فارس، پنجمین شهر پرجمعیت ایران است (SCI, 2022) اقلیم این شهر براساس دسته‌بندی کوپن، گرم و نیمه‌خشک (BSh) است (Landofaryan, 2011: ۸). با توجه به نتایج ایستگاه سینوپتیک ماهانه و سالانه شهر شیراز، متوسط دمای سالانه در این شهر ۱۹,۱۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین سرعت سالانه باد ۶,۴۸ متر بر ثانیه است (Tutiempo Network, 2021) مطابق گلباد سالیانه شیراز جهت باد غالب شهر، از شمال غربی است (EPW data (2007-2021) in Climate Consultant 6.0 software). شهر شیراز از یازده منطقه تشکیل شده است که مناطق ۱، ۶، ۹ و ۱۰ دارای بیشترین مساحت، و منطقه ۱، ۲ و ۴ پرجمعیت‌ترین هستند. بنابراین منطقه یک، هم به‌عنوان پرجمعیت‌ترین، و هم به‌عنوان وسیع‌ترین منطقه شیراز، درصد بالایی از آلاینده‌های ناشی از ترافیک شهری را در خود دارد. غالب ساختمان‌های موجود در این منطقه، کم ارتفاع (بین ۱ تا ۴ طبقه) هستند (Javanroodi et al., 2018: 718). بر همین اساس در این پژوهش، الگوی بافت و فرم ساختمان‌ها براساس نمونه‌های موجود در این منطقه در نظر گرفته شده است.

### نمونه‌های مورد مطالعه

- تولید فرم ساختمان‌ها: در این پژوهش، به‌منظور تولید فرم از نرم‌افزار گرس هاپر و پلاگین وسپ<sup>۱</sup> استفاده شد. الگوریتم تولید فرم مورد استفاده، الگوریتم اگریگیشن<sup>۲</sup> است. فرم‌های تولید شده از یک مکعب با ابعاد  $9 \times 9 \times 9$  ساخته شدند. این فرم‌ها، خود متشکل از ۲۷ سلول مکعبی با ابعاد

به‌عنوان الگوی پایه در ساخت نمونه‌های موردی، استفاده شد. از میان ۱۰۰ نمونه فرم تولیدشده در گرس هاپر در مرحله قبل، ۳ نمونه بیشترین شباهت را با ساختمان‌های موجود در منطقه ۱ شهر شیراز داشتند. بر همین اساس، از این ۳ فرم به‌منظور تولید بافت‌های نمونه‌های موردی استفاده شد. نمونه‌های موردی در این پژوهش، شامل بافت‌هایی با الگوی خطی متصل هستند که متشکل از یک ساختمان هدف، و ۲۴ ساختمان در اطراف آن می‌باشند (شکل ۳). ساختمان هدف در تمام نمونه‌های موردی، دارای فرم یکسان مکعب مستطیل شکل با ابعاد  $3H \times 9W \times 15L$  است. این ساختمان، تهویه دوطرفه با دو پنجره با ابعاد  $2 \times 3m^2$  در دو جبهه شمال غربی و جنوب شرقی دارد. سایر ساختمان‌های شکل‌دهنده بافت در نمونه‌های موردی برگرفته از ۳ الگوی انتخابی در مرحله قبل است؛ به این ترتیب که هرکدام از فرم‌های انتخابی (از

$3 \times 3 \times 3$  هستند. خروجی این بخش، تولید ۱۰۰ فرم بود که دارای حجم ثابت و ضریب فشردگی مختلف بودند (شکل ۲). در فرایند تولید این فرم‌ها، دو قانون در گرس هاپر تعریف شد: ۱. سلول‌های تولیدی باید از لبه به یکدیگر متصل شوند نه از گوشه‌ها، ۲. پیکره‌بندهای تولیدشده باید فرمی یکپارچه داشته، و نمی‌تواند از دو فرم مجزا تشکیل شده باشد. - **تعیین فرم بافت:** یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار باد در اطراف ساختمان‌ها، فرم و نحوه پیکره‌بندی آن‌ها نسبت به یکدیگر (آرایش ساختمانی) است (Niachou et al., 2008; 1375) در منطقه یک شیراز، پنج الگوی پیکره‌بندی ساختمانی، قابل مشاهده است: الگوی خطی منفصل، خطی متصل، مرکزی، نقطه‌ای منظم، و نقطه‌ای نامنظم (جدول ۲). از بین این پنج الگو، خطی متصل، یکی از رایج‌ترین الگوهای پیکره‌بندی بافت مسکونی در شهر شیراز است. بر همین اساس، از این الگو



شکل ۲. ۱۰۰ فرم ساختمانی تولیدشده در گرس هاپر براساس الگوریتم آگریگیشن



شکل ۱. شهر شیراز و مناطق ده‌گانه آن (Salimi Sobhan & Mansuri, 2020)

جدول ۲. انواع آرایش ساختمانی بافت شهری در شهر شیراز

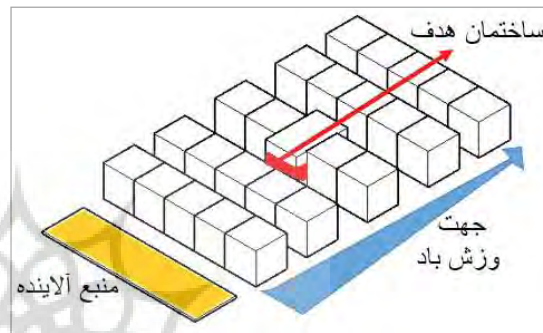
خطی متصل	خطی منفصل	مرکزی	نقطه‌ای منظم	نقطه‌ای نامنظم

دهنده بافت، به فرم یک مکعب ساده در قالب یک بافت خطی متصل، پیرامون ساختمان هدف چیده شده‌اند (شکل ۳). نتایج تحقیق در قالب سنجش میزان سرعت باد و میزان انتشار آلودگی درون ساختمان هدف، در نمونه‌های موردی ارائه می‌گردد. منبع آلودگی در این پژوهش، یک خیابان با عرض ۱۲ متر واقع در شمال غربی سایت است (شکل ۳).

### اعتبارسنجی نرم‌افزار

به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش، از نتایج تحقیق استفاده شده است (Bai et al., 2023: 874). این تحقیق، در پردیس جنوبی دانشگاه جینان، گوانگژو، چین در سایتی به مساحت  $25.2m \times 12m$  انجام شده است. در این سایت، ۱۷ ردیف مدل‌های ساختمانی بتنی چیده شده است، که ۱۶ دره، خیابان شرقی-غربی را تشکیل می‌دهند. جهت دره‌های خیابان ۶۸ شمال به شرق هستند. هر دره خیابان، ۱۲ متر طول دارد و از ۲۴ مد ل ساختمان بتنی توخالی با طول، عرض، ارتفاع، و ضخامت دیوار ۰.۵، متر، ۰.۵، متر، ۱.۲، متر و ۱.۵، سانتی‌متر، به ترتیب

در دو لایه به صورت منظم در اطراف ساختمان هدف، چیده شدند. باتوجه به ثابت بودن جهت باد (شمال غربی به جنوب شرقی)، به منظور تحلیل تأثیر باد بر وجوه مختلف فرم‌ها، چهار چرخش ۹۰ درجه‌ای بر فرم‌ها اعمال گردید. به این ترتیب، تعداد بافت‌های نمونه موردی به ۱۲ ارتقا یافت (جدول ۳). علاوه بر این ۱۲ بافت نمونه موردی، در این پژوهش یک بافت نیز به عنوان کیس مرجع در نظر گرفته شده است. در این مورد، تمام ۲۴ ساختمان تشکیل



شکل ۳. فرم بافت نمونه، مبنا و مدول‌های آن (نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۳. فرم ساختمانی نمونه‌های مورد تحقیق

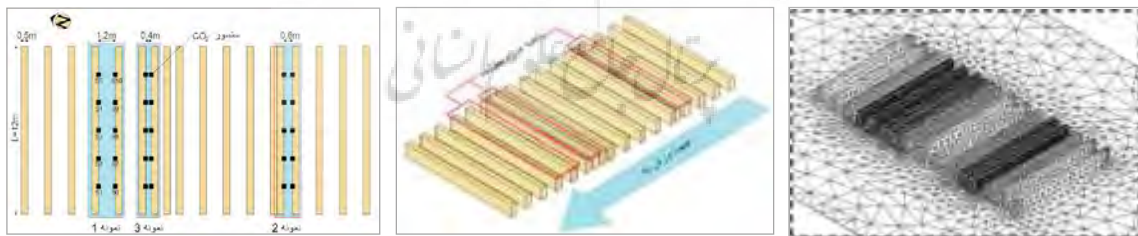
لیست نمونه‌های مورد پژوهش				فرم ساختمانی موجود در بافت شیراز	فرم تولیدشده در گرس‌هاپر
A-04	A-03	A-02	A-01	الگو A	
B-04	B-03	B-02	B-01	الگو B	
C-04	C-03	C-02	C-01	الگو C	

اسکالار یک برای شرایط مرزی استفاده شده است. همچنین، نرخ جریان جرمی ۵ برای آلاینده در شرایط مرزی اعمال شده است. از معادلات ۳ بعدی ثابت RANS و شیوه حل در حالت پایدار، استفاده شده است. مدل آشفتگی مورد استفاده،  $k-\omega$  SST می باشد. شکل ۵، نتایج اعتبارسنجی را در ارتباط با غلظت آلاینده‌ها در سه دره خیابان با عرض ۱،۲ متر (نمونه ۱)، ۰،۶ متر (نمونه ۲)، و ۰،۴ متر (نمونه ۳) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، انطباق نسبتاً زیادی میان نتایج CFD و مقاله اعتبارسنجی وجود دارد. میانگین خطا برای نمونه ۱، ۹.۹۵٪ برای نمونه ۲، ۴.۲۱٪ و برای نمونه ۳، ۵.۴۴٪ می باشد. بنابراین می توان اعتبار نرم افزار را جهت شبیه سازی نمونه های پژوهش حاضر، تأیید نمود.

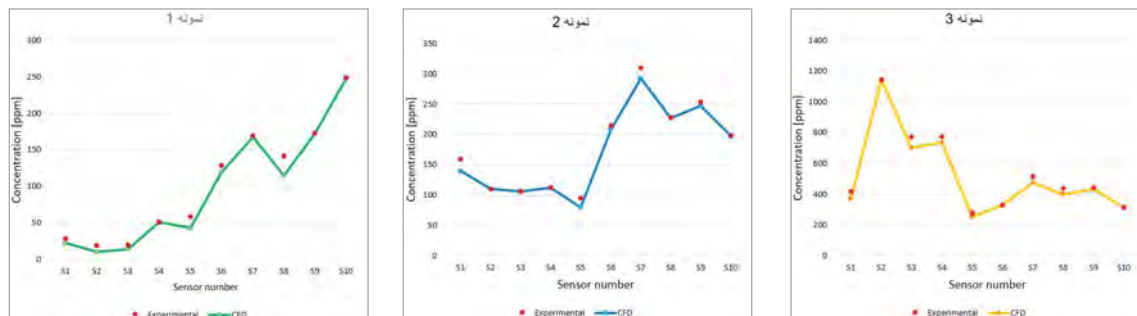
### تنظیمات شبیه سازی در CFD

باتوجه به ابعاد پیشنهادی (Franke et al., 2011: 421)؛ (Tominaga et al., 2008: 1755) برای تهویه طبیعی در شبیه سازی CFD، طول دامنه بالادست و دامنه پایین دست به ترتیب  $10H=90$  متر، و  $20H=180$  متر در نظر گرفته شده است. در این حالت، ابعاد دامنه محاسباتی  $W$  متر مکعب می باشد (شکل ۶). محاسبات از طریق شبیه سازی CFD در فضای باز و داخلی انجام می شود. این روش می تواند یک تعامل بویا بین محیط داخلی و خارجی در دهانه ها ایجاد کند (Tan & Glicksman, 2005: 1051). در این پژوهش، نرخ جریان حجمی و میزان انتشار آلاینده ها در محیط داخلی ساختمان هدف، مد نظر قرار گرفته است. شبکه محاسباتی

تشکیل شده است. در این آزمایش، از مقیاس ۱:۱۵ (معادل ارتفاع واقعی ساختمان شهری ۱۸ متر)، استفاده شده است. برای آزمایشات، سه دره خیابانی از سایت با عرض ۱،۲ متر، ۰،۶ متر و ۰،۴ متر، یعنی به ترتیب دره هایی با  $H/W=1$ ،  $H/W=2$ ،  $H/W=3$  انتخاب شده اند. آلاینده مورد بررسی، گاز  $CO_2$  می باشد که باتوجه به آلودگی های ناشی از ترافیک شهری انتخاب شده است. در تحقیق حاضر، غلظت آلاینده در ارتفاع 0.3 متر مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، ابعاد دامنه محاسباتی جهت تحلیل نمونه اعتبارسنجی CFD براساس دستورالعمل های در نظر گرفته شده است (Tominaga et al., 2008: 1751)؛ (Franke et al., 2011: 421). برای این اساس، مرز ورودی در فاصله  $10H$  از ساختمان بالادست دره خیابان، و مرز خروجی در فاصله  $20H$  از ساختمان پایین دست، تعیین شد. ارتفاع دامنه محاسباتی و دامنه های جانبی  $10H$  تعیین شدند. بنابراین ابعاد دامنه محاسباتی، معادل  $W \times D \times H = 36 \times 61.2 \times 12 m^3$  محاسبه شده است. شبکه محاسباتی ساخته شده دارای ۱۱۷۳۵۲۱ سلول شش وجهی است (شکل ۴). در این تحقیق، باتوجه به فرایندهای فیزیکی و شرایط مرزی، در مدل سازی کلیه نمونه ها از مشخصات لایه مرزی جو (ABL)، تحت شرایط خنثی برای جریان باد استفاده شده است. در نمونه اعتبارسنجی، دامنه ورودی سرعت  $1.8 m/s$  و برای دامنه خروجی، فشار استاتیکی صفر اعمال شده است. شرایط تقارن یعنی سرعت نرمال صفر و افت حرارت نرمال صفر در همه متغیرها برای مرزهای بالایی و جانبی، استفاده شده است. در مدل اعتبارسنجی از



شکل ۴. آرایش خیابان ها در مدل اعتبارسنجی (سمت چپ)، و شبکه محاسباتی در نرم افزار Autodesk CFD (سمت راست). (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۵. مقایسه نتایج تونل باد و CFD در اعتبارسنجی، غلظت آلاینده در نمونه ۱، نمونه ۲، و نمونه ۳ (به ترتیب از چپ به راست). (نگارندگان، ۱۴۰۳)

انتخاب شده ساختاریافته، و دارای سلول‌های شش‌وجهی است. تعداد سلول‌ها در نمونه‌های موردی تحقیق بین ۱۶۲۴۳۱۸ تا ۱۶۳۷۲۱۹ در نوسان بود. در شکل ۶، الگوی مش نمونه پایه، دیده می‌شود.

در ورودی، دامنه سرعت  $6.48 \text{ m/s}$  و دمای  $19.17$  درجه سانتی‌گراد، و در خروجی دامنه فشار استاتیکی، صفر در نظر گرفته شده است. همچنین نرخ جریان جرمی  $5$  و اسکالار  $0.01$  برای منبع آلاینده در نظر گرفته شده است. سایر تنظیمات پارامترهای حل برای شبیه‌سازی CFD نمونه‌ها، با تنظیمات استفاده شده در اعتبارسنجی، یکسان است؛ با این تفاوت که آلاینده مورد تحلیل در نمونه‌های موردی  $\text{NO}_2$  می‌باشد. بنابراین ضریب انتشار  $1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ، در بخش جنرال اسکالار وارد شده است.

#### یافته‌ها و بحث

در این بخش، به تحلیل نتایج شبیه‌سازی نمونه‌های موردی در ارتباط با دو متغیر سرعت هوا و غلظت آلاینده  $\text{NO}_2$  درون ساختمان هدف (target building)، پرداخته می‌شود. سپس نتایج حاصل از تحلیل‌ها، با مقادیر استاندارد اشرفی مقایسه، و با استفاده از روش چندمعیاره تاپسیس نمونه‌های بهینه معرفی می‌شوند.

#### نمونه مبنا

شکل ۷، کانتورهای غلظت  $\text{NO}_2$  را برای نمونه مبنا نشان می‌دهد. همان‌گونه که از کانتورها نمایان است، رنگ آبی نشان دهنده غلظت کم، و رنگ قرمز نشان دهنده غلظت زیاد آلاینده‌ها است. همان‌گونه که در کانتور پلان بافت (CP) مشاهده می‌شود، شکل خطی متصل بلوک‌ها باعث جلوگیری از نفوذ آلاینده‌ها به مرکز و انتهای بافت شده است. در کانتور پلان ساختمان هدف (TBP)، توزیع غلظت به‌طور یکنواخت در کل اتاق قابل مشاهده است (شکل ۷).

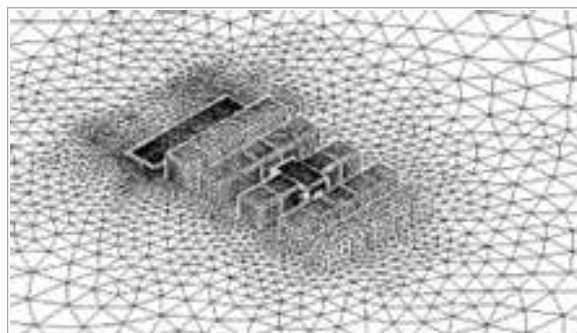
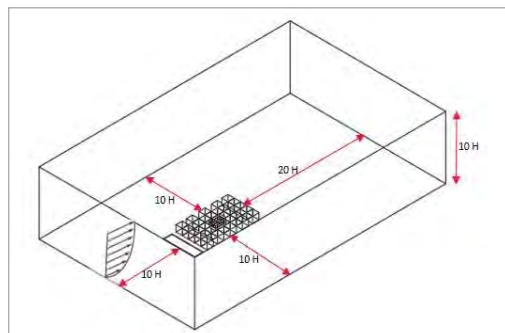
شکل‌های ۸ و ۹، به ترتیب مقادیر عددی غلظت آلاینده‌ها و سرعت هوای درون ساختمان هدف را در امتداد محور طولی اتاق و در ارتفاع  $4.5$  متری از سطح زمین نشان می‌دهند. براساس نمودار غلظت، در نزدیکی بازشوهای ورودی و خروجی هوا، غلظت  $\text{NO}_2$  کاهش چشمگیری نسبت به بخش میانی اتاق داشته است. با افزایش فاصله نسبت به بازشو ورودی، مقدار غلظت دارای شیب صعودی، و از مرکز اتاق به سمت بازشو خروجی، دارای شیب نزولی است (شکل ۸). این روند، در ارتباط با مقادیر سرعت درون اتاق متفاوت است؛ به این ترتیب که سرعت هوا در نزدیکی بازشوها در حداکثر میزان ممکن، و در بخش میانی اتاق به‌صورت یکنواخت قرار دارد (شکل ۹).

#### -الگو A

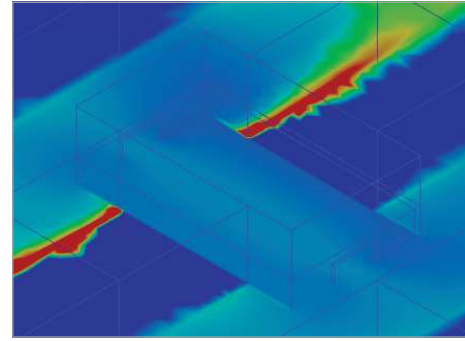
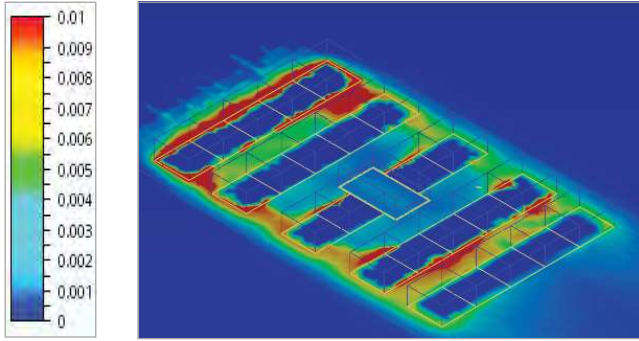
شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به ترتیب کانتورهای غلظت  $\text{NO}_2$ ، نمودار غلظت، و سرعت هوای درون ساختمان هدف را برای کیس‌های موجود در کانفیگوریشن A نشان می‌دهند. فرم پایه در این کانفیگوریشن، یک فرم T شکل است که با چرخش  $90$  درجه‌ای آن، کیس‌های A-01 تا A-04 شکل گرفته‌اند. مهم‌ترین یافته‌های مربوط به این کانفیگوریشن، شامل این موارد است:

در نمونه A-01 و A-03 که بازوی کوچک‌تر، عمود بر جهت باد قرار گرفته است، ورود آلاینده‌ها به مرکز و انتهای بافت (دورتر شدن از منبع آلاینده)، تا حد زیادی تعدیل شده است. بنابراین در ساختمان هدف این دو نمونه، غلظت آلاینده‌ها کم و یکنواخت است. شکل خطی و متصل بلوک‌ها هم به‌عنوان مانع، به این امر کمک می‌کند.

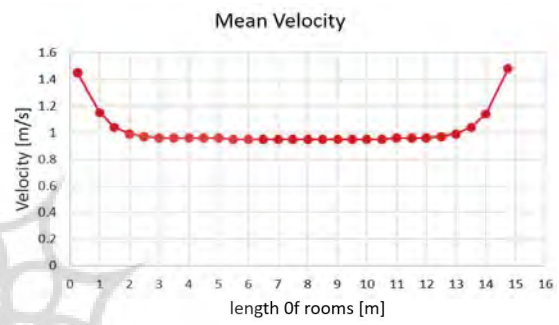
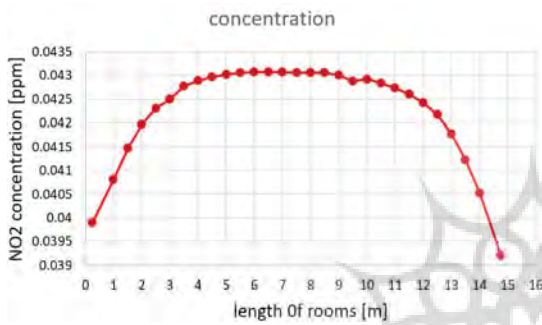
در نمونه‌های A-02 و A-04، بازوی کشیده‌تر عمود بر جهت باد قرار گرفته است. در این کیس‌ها نسبت به نمونه‌های A-01 و A-02، غلظت آلاینده‌ها بیشتر به درون بافت کشیده شده است.



شکل ۶. دامنه محاسباتی (سمت چپ)، و الگوی مش (سمت راست) در نمونه مبنا (نگارندگان، ۱۴۰۳)

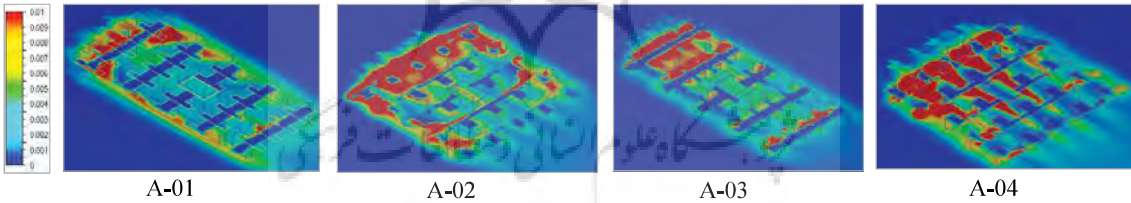


شکل ۷. کانتور غلظت برای نمونه مبنا (نگارندگان، ۱۴۰۳)

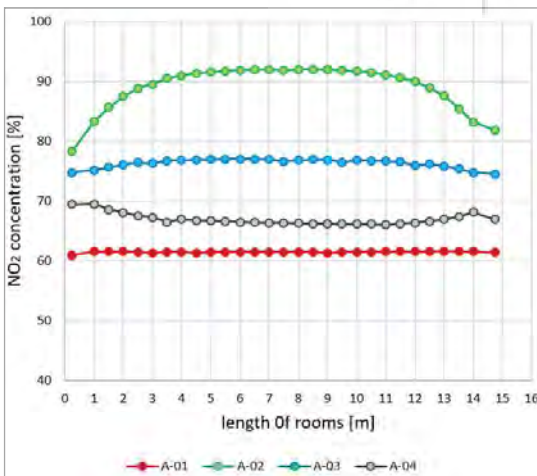


شکل ۹. غلظت آلاینده در طول ساختمان هدف برای نمونه مبنا (نگارندگان، ۱۴۰۳)

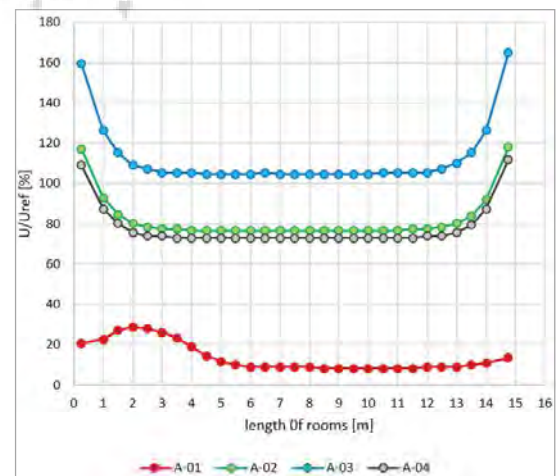
شکل ۸. سرعت هوا در طول ساختمان هدف برای نمونه مبنا (نگارندگان، ۱۴۰۳)



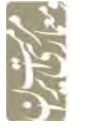
شکل ۱۰. کانتور گوی انتشار غلظت آلاینده‌ها در بافت شهری با الگو A (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۱۲. غلظت آلاینده در طول ساختمان هدف برای الگو A (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۱۱. سرعت هوا در طول ساختمان هدف برای الگو A (نگارندگان، ۱۴۰۳)



فضاهای خالی ایجاد شده در A-02، باعث مکش جریان هوا به سمت ضلع کوچک بلوک و افزایش غلظت آلاینده در این ناحیه شده است. بنابراین در این کیس، غلظت آلاینده‌ها در طول ساختمان هدف به‌ویژه در راستای پنجره ورودی و خروجی، زیاد شده است (شکل ۱۰).  
باتوجه به داده‌های به‌دست‌آمده در این کانفیگوریشن، بیشترین میزان غلظت در ساختمان هدف در A-02 و کمترین میزان آن در A-01 نمود یافته است (شکل ۱۱).  
همچنین بیشترین و کمترین میزان سرعت هوا به ترتیب در A-01 و A-03 قابل مشاهده است (شکل ۱۲).

### -الگو B

تصاویر ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به ترتیب کانفورهای غلظت  $NO_2$ ، نمودار غلظت و سرعت هوای درون ساختمان هدف را برای کیس‌های موجود در کانفیگوریشن B نشان می‌دهند. فرم پایه در این کانفیگوریشن، یک فرم L شکل است که با چرخش ۹۰ درجه‌ای آن، کیس‌های B-01 تا B-04، شکل گرفته‌اند. مهم‌ترین یافته‌های مربوط به این کانفیگوریشن، شامل این موارد است:

- در کیس‌های B-01 و B-03، الگوی کلی انتشار آلودگی در بافت پیرامون ساختمان هدف، مشابه است؛ به این ترتیب که در این دو نمونه بازوی کوچک‌تر فرم L که دارای عرض بیشتری نسبت به بازوی بزرگ فرم L می‌باشد، عمود بر جهت باد قرار گرفته است. این امر باعث جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به درون بافت شده است. اما تفاوتی که در الگوی انتشار در این دو بافت وجود دارد، به دلیل تفاوت در فضای خالی ایجاد شده به وسیله دو بازوی فرم L است. در کیس B-01، این حفره در جهت رو به باد قرار دارد که باعث تجمع آلودگی در آن می‌شود. در کیس B-03، این حفره در جهت پشت به باد قرار دارد. بنابراین دو بازوی فرم L از ورود آلاینده به این حفره، جلوگیری می‌کنند. بنابراین، مشاهده می‌شود که ساختمان هدف در کیس B-01 دارای غلظت آلاینده بیشتر از کیس B-03 می‌باشد.

- در کیس‌های B-02 و B-04، بازوی بزرگ‌تر فرم L که دارای عرض کمتری نسبت به بازوی کوچک فرم L می‌باشد، عمود بر جهت باد قرار گرفته‌اند. بنابراین نسبت به دو نمونه B-01 و B-03، غلظت بالاتری از آلاینده را وارد بافت می‌کنند. به دلیل قرار گرفتن حفره فرم L در جهت پشت به باد، ساختمان هدف در کیس

B-02، دارای آلاینده کمتری نسبت به کیس B-04 می‌باشد (شکل ۱۳).

- از میان کیس‌های موجود در کانفیگوریشن B، بیشترین و کمترین غلظت  $NO_2$  در ساختمان هدف به ترتیب در B-04 و B-03 مشاهده شده است (شکل ۱۴).

- در ارتباط با سرعت هوا، بیشینه و کمینه سرعت در ساختمان هدف، به ترتیب در B-01 و B-04 مشاهده شده است (شکل ۱۵).

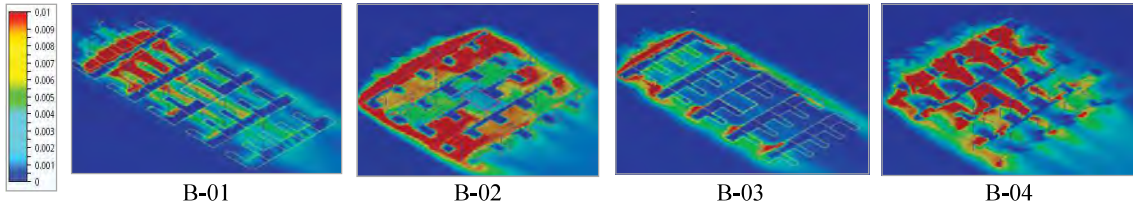
### -الگو C

شکل‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ به ترتیب کانفورهای غلظت  $NO_2$ ، نمودار غلظت و سرعت هوای درون ساختمان هدف را برای کیس‌های موجود در کانفیگوریشن C نشان می‌دهند. فرم پایه در این کانفیگوریشن، یک فرم پلکانی است که با چرخش ۹۰ درجه‌ای آن، کیس‌های C-01 تا C-04 شکل گرفته‌اند. مهم‌ترین یافته‌های مربوط به این کانفیگوریشن، شامل این موارد است:

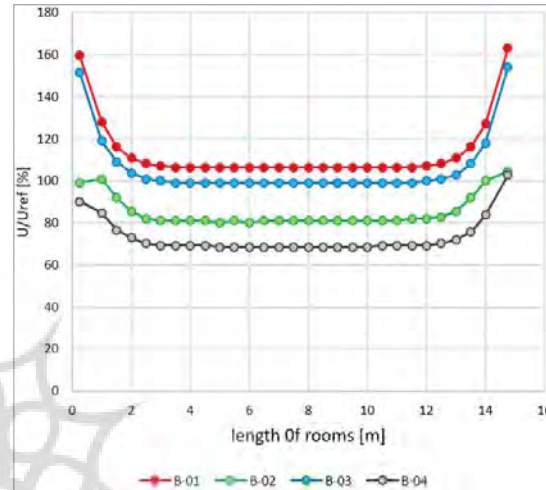
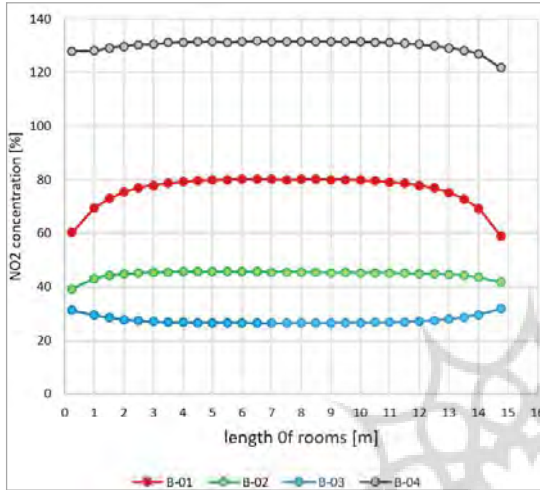
- کیس‌های C-01 و C-03، دارای رفتاری مشابه در نحوه انتشار آلودگی در بافت هستند. در این دو نمونه، غلظت آلاینده در همه بافت پراکنده شده است. شیب پلکان‌ها که شرقی-غربی است، شکل خطی متصل بافت را تحت تأثیر قرار داده است.  
- در کیس C-02 و C-04 که شیب پلکان به ترتیب در جبهه رو به باد و پشت به باد است، با حرکت از نزدیک متبع آلاینده به سمت انتهای بافت، غلظت آلاینده کاهش یافته است (شکل ۱۶).

از میان کیس‌های موجود در کانفیگوریشن C، بیشترین و کمترین غلظت  $NO_2$  در ساختمان هدف به ترتیب مربوط به C-03 و C-04 است (شکل ۱۷). همچنین بیشترین و کمترین میزان سرعت هوا به ترتیب مربوط به C-01 و C-04 است (شکل ۱۸).

شکل‌های ۱۹ و ۲۰ به ترتیب میانگین غلظت  $NO_2$  و سرعت هوا را در نمونه‌های موردی در مقایسه با استاندارد اشری نشان می‌دهند. همان‌گونه که از شکل ۱۹ پیداست، کمترین میزان غلظت آلاینده‌ها به ترتیب در B-03 و B-02، و بیشترین میزان آن در C-03 قابل مشاهده است. همچنین در میان نمونه‌ها C-03، B-04، C-01 و C-02 دارای غلظت آلاینده‌های بالاتر از محدوده مجاز اشری می‌باشند (شکل ۱۹). در ارتباط با سرعت هوا، شکل ۲۰ نشان می‌دهد که در تمام نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، سرعت کمتر از حد مجاز استاندارد اشری است. کمترین سرعت در نمونه‌های

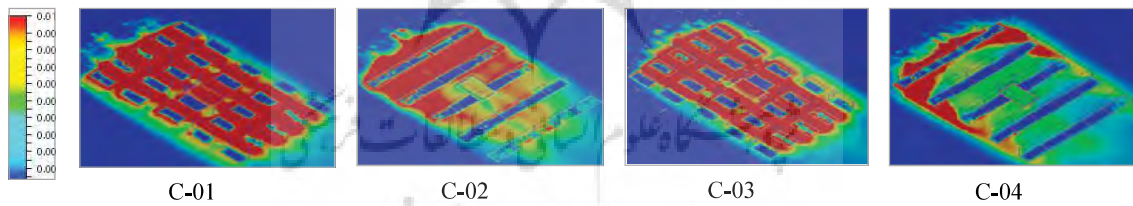


شکل ۱۳. کانتور الگوی انتشار غلظت آلاینده‌ها در بافت شهری با الگو B (نگارندگان، ۱۴۰۳)

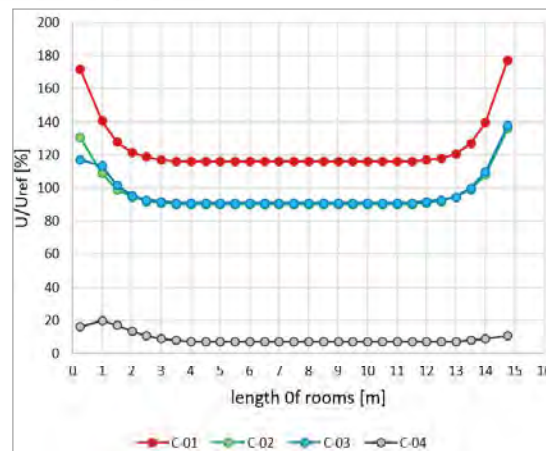
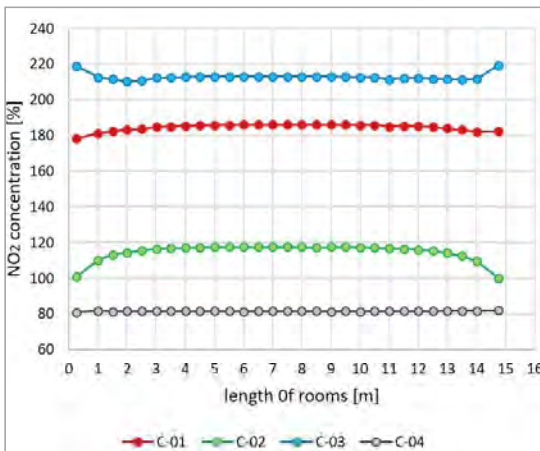


شکل ۱۵. غلظت آلاینده در طول ساختمان هدف برای الگو B (نگارندگان، ۱۴۰۳)

شکل ۱۴. سرعت هوا در طول ساختمان هدف برای الگو B (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۱۶. کانتور الگوی انتشار غلظت آلاینده‌ها در بافت شهری با الگو C (نگارندگان، ۱۴۰۳)



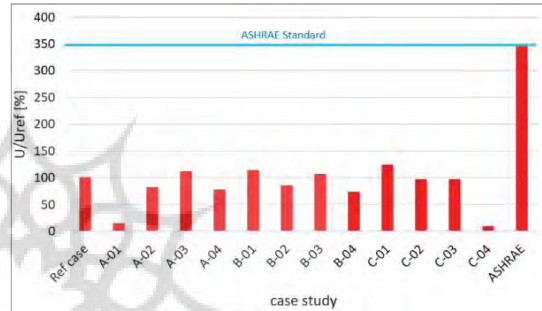
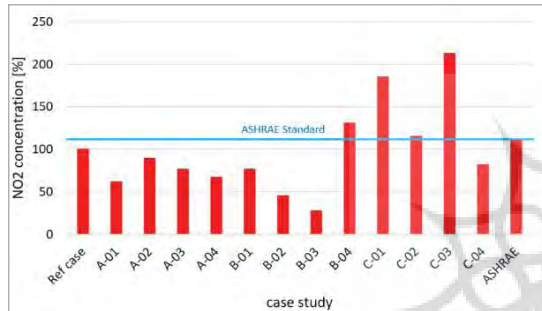
شکل ۱۸. غلظت آلاینده در طول ساختمان هدف برای الگو C (نگارندگان، ۱۴۰۳)

شکل ۱۷. سرعت هوا در طول ساختمان هدف برای الگو C (نگارندگان، ۱۴۰۳)

گیری وجود دارد که باتوجه به معیارها، گزینه‌ها می‌بایست رتبه‌بندی شوند. در این روش، به هرکدام از نمونه‌ها براساس دو معیار کاهش غلظت آلاینده‌ها در فضای داخلی، و افزایش سرعت هوا به منظور تهویه بهتر درون فضا، یک نمره کارایی اختصاص داده می‌شود. اساس این روش بر استفاده از دو گزینه فرضی از میان گزینه‌های موجود است. یکی از این گزینه‌ها، مجموعه‌ای از بهترین مقادیر مشاهده شده در ماتریس تصمیم‌گیری است که اصطلاحاً ایدئال مثبت (بهترین حالت ممکن)، نامیده می‌شود. گزینه دیگر شامل بدترین حالت‌های

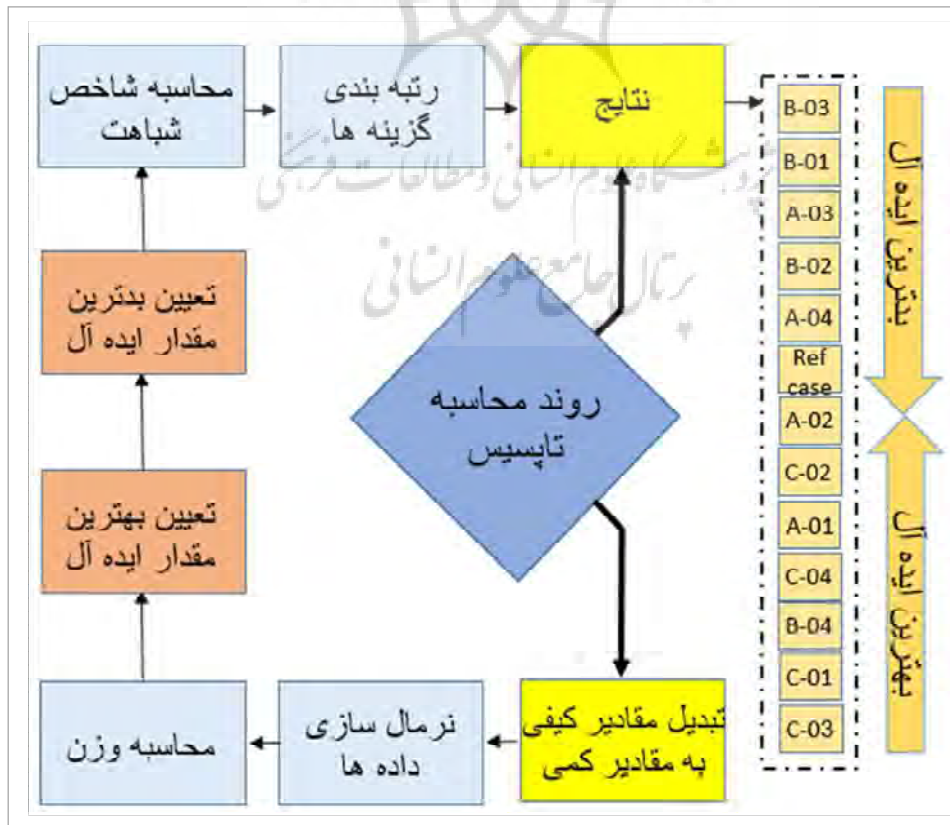
موردی به ترتیب مربوط به C-04 و A-01، و بیشترین میزان آن مربوط به C-01 است (شکل ۲۰).

باتوجه به اینکه در این پژوهش، کاهش نفوذ آلاینده‌ها به دورن بنا و افزایش سرعت هوا در تهویه به عنوان عوامل تعیین‌کننده کیفیت هوای درون (IAQ) مد نظر قرار دارند، لذا از نتایج به دست آمده در موارد فوق، نمی‌توان بهینه‌ترین کیس را شناسایی کرد. بر همین اساس، از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس (MCDM) برای این منظور استفاده شد. در این روش، تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم



شکل ۲۰. میانگین غلظت آلاینده در نمونه‌های موردی در مقایسه با استاندارد اشری (نگارندگان، ۱۴۰۳)

شکل ۱۹. میانگین سرعت نمونه‌های موردی در مقایسه با استاندارد اشری (نگارندگان، ۱۴۰۳)



شکل ۲۱. روند رتبه‌بندی نمونه‌ها از ایدئال مثبت تا ایدئال منفی با استفاده از روش تاپسیس (نگارندگان، ۱۴۰۳)



آن، در پژوهش حاضر ارائه شده است (شکل ۲۱).  
براساس نتایج روش تاپسیس، بهترین گزینه از نظر معیارهای کاهش غلظت  $\text{NO}_2$  و افزایش سرعت تهویه در فضای داخلی ساختمان مرجع به ترتیب در B-01 و B-03، و بدترین نمونه‌ها از منظر معیارهای مذکور به ترتیب در C-03 و C-01، مشاهده شده است.

ممکن است که اصطلاحاً گزینه ایدئال منفی نامیده می‌شود. معیارها می‌توانند دارای ماهیت مثبت یا منفی باشند، همچنین واحد اندازه‌گیری آن‌ها نیز می‌تواند متفاوت باشد (Hanine et al., 2016: 263). در شکل ۲۱، روند رتبه‌بندی نمونه‌ها از ایدئال مثبت تا ایدئال منفی در روش تاپسیس به همراه نتایج

### نتیجه تحقیق

هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی تأثیر الگوهای متفاوت فرم ساختمان در یک بافت شهری بر کیفیت هوای درون فضا است. در این پژوهش، کاهش میزان آلاینده‌ها، و افزایش سرعت هوای درون فضا به عنوان دو پارامتر تعیین کننده کیفیت هوای درون فضا (IAQ) مدنظر قرار گرفت. ۱۲ نمونه موردی، متشکل از رایج‌ترین فرم‌های ساختمان‌های مسکونی کوتاه مرتبه در شهر شیراز در یک بافت شهری خطی متصل به عنوان نمونه‌های موردی در نظر گرفته، و در CFD شبیه‌سازی شدند. براین اساس، مهم‌ترین نتایج به دست آمده به این شرح است:

چرخش بلوک‌های ساختمانی در یک بافت شهری باعث تغییر در الگوی انتشار آلودگی در آن بافت می‌شود. در این ارتباط، فرم بلوک‌ها و فضاهای پر و خالی آن‌ها بر الگوی انتشار نقش مهمی دارد.

میانگین غلظت  $\text{NO}_2$  در ساختمان هدف در میان کیس‌های موجود در کانفیگوریشن C با فرم پلکانی بیشترین میزان، و در کانفیگوریشن B با فرم L شکل کمترین میزان است. این بدین معنی است که استفاده از فرم L شکل در بافت شهری خطی متصل به صورت نسبی، آلودگی کمتری را به فضای درون ساختمان هدایت می‌کند. در مقابل فرم پلکانی، به دلیل وجود شیب پلکانی با کمک کردن به تسهیل نفوذ آلاینده‌ها، باعث به دام افتادن آلودگی در فضاهای خالی سایت می‌شود. همین امر، به صورت نسبی باعث افزایش انتقال آلودگی به درون دیگر ساختمان‌های موجود در بافت می‌گردد.

در کانفیگوریشن B، در حالتی که بازوی بزرگ‌تر بنای L شکل موازی جهت باد قرار گرفته (B-03)، کمترین میزان غلظت  $\text{NO}_2$  در ساختمان هدف، مشاهده شده است.

در کانفیگوریشن C، در حالتی که بخش پلکانی بنا رو به شرق سایت باشد (C-03)، بیشترین میزان غلظت در ساختمان هدف، مشاهده شده است.

از میان کیس‌های مورد بررسی در این پژوهش، C-04 و C-01 به ترتیب دارای کمترین و بیشترین میانگین سرعت هوا در فضای درون ساختمان هدف هستند.

از میان کانفیگوریشن‌های مورد بررسی، به‌طور میانگین کانفیگوریشن A با فرم T شکل، و کانفیگوریشن B با فرم L، به ترتیب دارای کمترین و بیشترین سرعت هوا در ساختمان هدف بودند.

با در نظر گرفتن تأثیر هم‌زمان سرعت هوا و غلظت آلاینده به عنوان عوامل تعیین کننده کیفیت هوای درون در این پژوهش، نتایج استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس (MCDM)، نشان داد که B-03 و C-03 به ترتیب بهترین و بدترین نمونه‌های مورد بررسی از نظر IAQ هستند (در B-03 کشیدگی ساختمان L شکل در امتداد جریان باد قرار دارد، و در C-03 جهت شیب فرم پلکانی رو به شرق قرار دارد).

نتایج این مطالعه، بیان می‌کند که رقیق شدن هوای آلوده در فضای داخلی ساختمان، به شدت با ساختارهای فرم بلوک‌ها مرتبط است. این چنین وضعیتی، هم به الگوی فرم و هم به نحوه چیدمان و چرخش ساختمان‌ها در بافت پیرامون، بستگی دارد. نتایج این مقاله در دستیابی به بینش‌هایی درباره ظرفیت چیدمان فرم‌هایی مانند L، T، پلکانی، و دارای پیش‌آمدگی در بافت شهری کمک می‌کند. با توجه به پارامترهای محدود در نظر گرفته شده در این



مطالعه، در تحقیقات آتی می‌توان بررسی سایر الگوهای فرمی را با تغییر در تعداد طبقات به‌منظور درک کامل تأثیر فرم‌ها بر کیفیت هوای درون ساختمان‌ها، لحاظ کرد.

پی‌نوشت

3. Wasp
4. Aggregation
5. Configuration

#### فهرست منابع

- Agarwal, N., Meena, C. S., Raj, B. P., Saini, L., Kumar, A., Gopalakrishnan, N., Kumar, A., Balam, N. B., Alam, T., Kapoor, N. R., & Aggarwal, V. (2021). Indoor air quality improvement in COVID-19 pandemic: Review. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102942. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102942>
- Allegrini, J., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2012). Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings. *Energy and Buildings*, 55, 823–832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.013>
- Alwetaishi, M., & Gadi, M. (2021). New and innovative wind catcher designs to improve indoor air quality in buildings. *Energy and Built Environment*, 2(4), 337–344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.06.009>
- An, K., Wong, S.-M., & Fung, J. C.-H. (2019). Exploration of sustainable building morphologies for effective passive pollutant dispersion within compact urban environments. *Building and Environment*, 148, 508–523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.030>
- Badach, J., Voordeckers, D., Nyka, L., & Van Acker, M. (2020). A framework for Air Quality Management Zones - Useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk. *Building and Environment*, 174, 106743. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106743>
- Bai, Y., Dong, Y., Wang, W., Pan, D., Xu, Y., Zhong, Y., Chen, B., Chen, G., Wu, G., Wu, L., Wang, X., & Hang, J. (2023). Air pollutant dispersion in street canyons based on an outdoor scale model and machine learning. *Urban Climate*, 47, 101381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101381>
- Cárdenas Rodríguez, M., Dupont-Courtade, L., & Oueslati, W. (2016). Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.190>
- Ewing, R., & Rong, F. (2008). The Impact of Urban Form on US Residential Energy Use. *Housing Policy Debate - HOUS POLICY DEBATE*, 19, 1–30. <https://doi.org/10.1080/10511482.2008.9521624>
- Fan, M., Chau, C. K., Chan, E. H. W., & Jia, J. (2017). A decision support tool for evaluating the air quality and wind comfort induced by different opening configurations for buildings in canyons. *Science of The Total Environment*, 574, 569–582. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.083>



- Fenger, J. (1999). Urban air quality. *Atmospheric Environment*, 33(29), 4877–4900. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00290-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00290-3)
- Franke, J., Hellsten, A., Schlünzen, H., & Carissimo, B. (2011). The COST 732 Best Practice Guideline for CFD simulation of flows in the urban environment: A summary. *International Journal of Environment and Pollution*, 44, 419–427. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2011.038443>
- Hanine, M., Boutkhom, O., Tikniouine, A., & Agouti, T. (2016). Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus*, 5(1), 263. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1888-z>
- He, B.-J., Ding, L., & Prasad, D. (2019). Enhancing urban ventilation performance through the development of precinct ventilation zones: A case study based on the Greater Sydney, Australia. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101472. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101472>
- Huang, Y., He, W., & Kim, C.-N. (2015). Impacts of shape and height of upstream roof on airflow and pollutant dispersion inside an urban street canyon. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(3), 2117–2137. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3422-6>
- Javanroodi, K., Mahdavinejad, M., & Nik, V. M. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applied Energy*, 231, 714–746. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.116>
- Kairies-Alvarado, D., Muñoz-Sanguinetti, C., & Martínez-Rocamora, A. (2021). Contribution of energy efficiency standards to life-cycle carbon footprint reduction in public buildings in Chile. *Energy and Buildings*, 236, 110797. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110797>
- Kheirbek, I., Haney, J., Douglas, S., Ito, K., & Matte, T. (2016). The contribution of motor vehicle emissions to ambient fine particulate matter public health impacts in New York City: a health burden assessment. *Environmental Health*, 15(1), 89.
- Kianmehr, A., & Bahrainy, H. (2016). The Effect of Wind Direction and Speed on Ventilation and Pollutant Concentrations in Street Canyons. *Environmental Sciences*, 14(2), 97–108. [https://envs.sbu.ac.ir/article\\_97719\\_en.html](https://envs.sbu.ac.ir/article_97719_en.html)
- Kim, C., Choi, D., Lee, Y. G., & Kim, K. (2021). Diagnosis of indoor air contaminants in a daycare center using a long-term monitoring. *Building and Environment*, 204, 108124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108124>
- Landofaryan. (2011). *Shiraz*. Landofaryan.tripod.com
- Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*. Academic press.
- Liu, M., Chen, H., Wei, D., Wu, Y., & Li, C. (2021). Nonlinear relationship between urban form and street-level PM2.5 and CO based on mobile measurements and gradient boosting decision tree models. *Building and Environment*, 205, 108265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108265>
- Lu, K.-F., & Peng, Z.-R. (2023). Impacts of viaduct and geometry configurations on the distribution of traffic-related particulate matter in urban street canyon. *Science of The Total Environment*, 858, 159902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159902>

- MacNaughton, P., Melly, S., Vallarino, J., Adamkiewicz, G., & Spengler, J. D. (2014). Impact of bicycle route type on exposure to traffic-related air pollution. *The Science of the Total Environment*, 490, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.111>
- Mohammadi, H. (2011). *Urban Meteorology*. Tehran Press, University of Tehran. [In Persian].
- Ng, W.-Y., & Chau, C.-K. (2014). A modeling investigation of the impact of street and building configurations on personal air pollutant exposure in isolated deep urban canyons. *Science of The Total Environment*, 468–469, 429–448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.077>
- Nguyen, V. T., Nguyen, C., & Nguyen, J. (2019). Numerical Simulation of Turbulent Flow and Pollutant Dispersion in Urban Street Canyons. *Atmosphere*, 10, 683. <https://doi.org/10.3390/atmos10110683>
- Niachou, K., Hassid, S., Santamouris, M., & Livada, I. (2008). Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment. *Building and Environment*, 43(8), 1373–1382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.046>
- Niu, H., Wang, B., Liu, B., Liu, Y., Liu, J., & Wang, Z. (2018). Numerical simulations of the effect of building configurations and wind direction on fine particulate matters dispersion in a street canyon. *Environmental Fluid Mechanics*, 18(4), 829–847. <https://doi.org/10.1007/s10652-017-9563-7>
- Park, S.-K., Kim, S.-D., & Lee, H. (2004). Dispersion characteristics of vehicle emission in an urban street canyon. *The Science of the Total Environment*, 323(1–3), 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.09.032>
- PlumeLabs. (2022). *Air quality in Shiraz*. Air.Plumelabs. [https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Shiraz-tv9?utm\\_source=accuweather&utm\\_medium=current\\_aq\\_widget&utm\\_campaign=#ae16](https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Shiraz-tv9?utm_source=accuweather&utm_medium=current_aq_widget&utm_campaign=#ae16)
- Raaschou-Nielsen, O., Sorensen, M., Ketznel, M., Hertel, O., Loft, S., Tjonneland, A., Overvad, K., & Andersen, Z. (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and diabetes-associated mortality: a cohort study. *Diabetologia*, 56(1), 36–46.
- Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation flow for different isolated building configurations: Validation with wind tunnel measurements and analysis of physical and numerical diffusion effects. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 104–106, 408–418. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.02.005>
- Ramponi, Rubina, Blocken, B., de Coo, L. B., & Janssen, W. D. (2015). CFD simulation of outdoor ventilation of generic urban configurations with different urban densities and equal and unequal street widths. *Building and Environment*, 92, 152–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.018>
- Salimi Sobhan, M., & Mansuri, B. (2020). Assessment of Healthy city indicators by using fuzzy TOPSIS, Case study: Ten districts of city Shiraz. *Geographical Sciences*, 16(32).
- SCI. (2022). *Statistical Center of Iran*.
- Sharifi, M. (2009). *Investigation of air pollution caused by passenger terminal in the surrounding urban context*. University of Tehran. [In Persian].
- Shiraz municipality. (n.d.). *Shiraz districts plan*. <https://renovation.shiraz.ir/Modules/ShowFramework.aspx?FrameworkPageType=SEC&RelFacilityId=156&BlockId=38&ContentId=4809>





- Tan, G., & Glicksman, L. (2005). Application of integrating multi-zone model with CFD simulation to natural ventilation prediction. *Energy and Buildings - ENERG BLDG*, 37, 1049–1057. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.009>
- Tao, Y., Yan, Y., Fang, X., Zhang, H., Tu, J., & Shi, L. (2022). Solar-assisted naturally ventilated double skin façade for buildings: Room impacts and indoor air quality. *Building and Environment*, 216, 109002. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109002>
- Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(10), 1749–1761. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058>
- Tutiempo Network, S. L. (2021). <https://en.tutiempo.net/climate/ws-408210.html>.
- Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca, N. (2003). Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment*, 37(2), 155–182. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00857-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00857-9)
- Wong, P. P. Y., Lai, P.-C., Allen, R., Cheng, W., Lee, M., Tsui, A., Tang, R., Thach, T.-Q., Tian, L., Brauer, M., & Barratt, B. (2019). Vertical monitoring of traffic-related air pollution (TRAP) in urban street canyons of Hong Kong. *The Science of the Total Environment*, 670, 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.224>
- Wu, Y., & Chen, H. (2023). The diffusion of traffic pollutants in different residential blocks based on spatial morphological clustering. *Building and Environment*, 228, 109860. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109860>
- Xie, X., Huang, Z., & Wang, J. (2005). Impact of building configuration on air quality in street canyon. *Atmospheric Environment*, 39(25), 4519–4530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.043>
- Yuan, C., Ng, E., & Norford, L. K. (2014). Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies. *Building and Environment*, 71, 245–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.008>
- Zheng, T., Li, B., Li, X.-B., Wang, Z., Li, S.-Y., & Peng, Z.-R. (2021). Vertical and horizontal distributions of traffic-related pollutants beside an urban arterial road based on unmanned aerial vehicle observations. *Building and Environment*, 187, 107401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107401>
- Zhu, L., Ranasinghe, D., Chamecki, M., Brown, M. J., & Paulson, S. E. (2021). Clean air in cities: Impact of the layout of buildings in urban areas on pedestrian exposure to ultrafine particles from traffic. *Atmospheric Environment*, 252, 118267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118267>

Received: 2023/05/18

Accepted: 2024/05/16



## CFD study of the effect of building form on reducing the traffic pollutants and increasing the ventilation velocity inside the building in the urban slabbed context

Mozhgan Kamali\*\* Ali Akbar Heidari\*\*\* Yaghoub  
Peyvastehgar\*\*\*\*

### Abstract

One of the most important factors affecting air pollution in cities is the pollution caused by urban traffic. Therefore, concern about human health against pollutants in the air has become a crisis in the lives of citizens. The effect of the emission of suspended particles caused by traffic on air quality in urban canyons has been investigated in various researches. Meanwhile, the impact of this issue on indoor air quality has been less investigated. On the other hand, the morphology of buildings has a great impact on the distribution pattern of pollutants in an urban context. In recent years, the role of building morphology on the spread of pollution in urban research and environmental design has received less attention. Accordingly, in this research, the role of the morphology of buildings in an urban context on the distribution of pollutants caused by traffic in the building interior is discussed. Therefore, the form of buildings in an urban context is considered as an independent variable and indoor air quality with two sub-variables of air velocity and pollutant concentration as a dependent variable. The research process is carried out in such a way that at first, by using grasshopper software, wasp plugin, and with the help of Aggregation algorithm, 100 form samples were produced, among which 6 main forms, similar to existing building forms in the urban context of district 1 of the Shiraz city was selected. Then, by rotating each of the forms in four directions, a total of 12 cases of urban context were produced. A building in the center of each urban context was selected as the target building and air quality including air velocity and concentration of pollutants was measured inside it. In this research, the cases were simulated using Computational Fluid Dynamics (CFD). Steady 3-dimensional flow was used to simulate the cases using the SST-K $\omega$  turbulence model, which was numerically solved based on the Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) equations. The CFD software used in this research was validated in comparison with wind tunnel tests, which yielded acceptable results. The results showed that the form of the buildings in the context has a significant effect on the air quality (effect of velocity and pollutant concentration) inside the buildings. Also, based on the results of the TOPSIS multi-criteria decision-making method, the best and the worst building form are related to the L-form and the step-shaped form, respectively. The results of this research suggest design solutions for architects and urban designers to improve the ventilation quality of buildings.

**Keywords:** Building form, air quality, air pollution, air velocity, Computational Fluid Dynamics (CFD)

---

\* This article is extracted from the first author's architecture doctoral dissertation, entitled: "CFD study of the effect of building form on reducing the traffic pollutants and increasing the ventilation velocity inside the building in the urban slabbed context" under the supervision of second author and the advisory of third author at the Faculty of Art and Architecture, Yasuj Islamic Azad University.

\*\* Ph.D. Student in Architecture, Faculty of Art and Architecture, Yasuj Islamic Azad University, Yasuj, Iran.

*Mozhgan\_ka19@yahoo.com*

\*\*\* Prof., Faculty of Technical and Engineering, Yasuj University, Yasuj, Iran. (Corresponding Author).

*aliakbarheidari.iust@gmail.com*

\*\*\*\* Associate Prof., Faculty of Art and Architecture, Yasuj Islamic Azad University, Yasuj, Iran.

*peyvastehgar@gmail.com*